

УДК 621.31

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗОК НА ЭТАПЕ КРАТКОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТИ

Н. Сингх,

канд. техн. наук, начальник отдела руководства проектами

Д. В. Чубраев,

канд. техн. наук, старший руководитель проекта

Компания «ETTRANS AG» (Швейцария)

Одним из элементов системы обеспечения оперативной безопасности электропередающих сетей Западной Европы, входящих в союз UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity – Союз по координации передачи электроэнергии, объединяющий 34 системных оператора Европы), является процесс DACF (Day-Ahead Congestion Forecast – Прогноз перегрузок на день вперед), отвечающий за предсказание перегрузок на этапе краткосрочного планирования. В статье описывается подход к автоматизации процесса DACF на фирме ETRANS AG, являющейся координатором швейцарской передающей сети и энергетического блока «Юг» Европейской объединенной сети.

One of the important elements of operational security system of the European interconnected power network is the DACF (Day-Ahead Congestion Forecast) process, that is to be performed by all countries-members of UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity). This article describes the approach of Swiss Transmission System Coordinator ETRANS AG to the automation of the DACF process.

Введение

В условиях открытия энергетического рынка все более возрастает роль краткосрочного (на день вперед) планирования режима эксплуатации сети, что объясняется возрастанием доли краткосрочных сделок между поставщиками и потребителями энергии в общем объеме энергопоставок. Одновременно, ввиду повышения интенсивности межрегионального и международного энергообмена, доводится до максимума коэффициент использования сети, что означает, что сеть используется в режиме, наиболее близком к режиму максимально допустимой нагрузки. Таким образом, сочетание высокой нагруженности сети с краткосрочным изменением профиля производства и потребления энергии предъявляет ряд дополнительных требований как к процессу расчета и анализа режима работы сети, так и к соответствующим программным системам.

Ранее расчет режимов работы сети производился для небольшого количества контрольных случаев (например, зима–лето, день–ночь) и являлся частью процесса планирования сети, не ограниченного

жесткими временными рамками, что позволяло осуществлять подобные операции группой специалистов с использованием интерактивных программных систем при большой доле ручных операций в процессе подготовки, расчета и анализа моделей сети. В настоящее время, помимо планирования, требуется краткосрочный расчет безопасности сети для ряда временных точек следующего дня, для целей оперативного управления сетью. Проведение подобного расчета традиционным «ручным» методом нецелесообразно, а, начиная с некоторого объема (для трех и более часов), и невозможно для одного человека, так как все вычисления должны быть завершены в течение одного-двух часов. Существующее положение дел выдвигает требование частичной или полной автоматизации процесса кратковременного расчета безопасности сети. С учетом использования современной программно-аппаратной базы, данная задача может быть успешно решена с помощью стандартных продуктов, доступных на рынке систем моделирования электрических сетей [1].

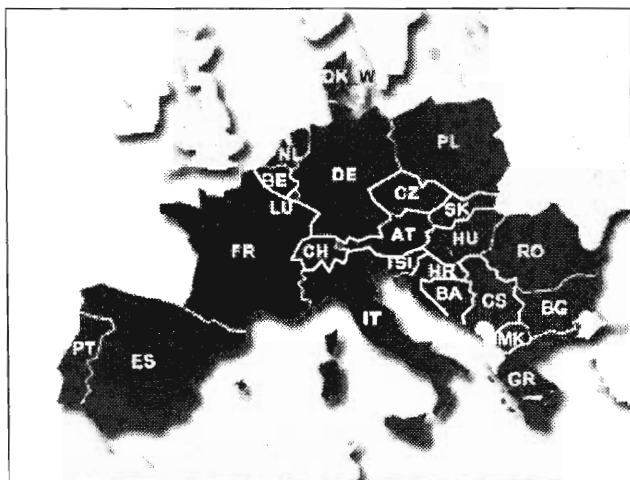
Подобное решение реализовано на фирме ETRANS, являющейся координатором швейцар-

ской передающей сети. Работа проведена в рамках проекта по разработке и реализации комплекса мер по предотвращению перегрузок высоковольтной передающей сети, основные принципы которого изложены в работе [2].

Постановка задачи

Система краткосрочного определения перегрузок в транспортной сети разработана в соответствии с указаниями UCTE (рис. 1) и основана на подходе, определенном рабочей группой DACF. Данный подход позволяет произвести построение и расчет объединенной сети, основываясь только на независимо созданных моделях частей этой сети. Согласно процессу, каждый из партнеров DACF готовит модель части сети, находящейся в его зоне ответственности, и помещает ее для общего пользования на сервер UCTE (Electronic Highway). В результате, каждая из сторон имеет доступ ко всем частичным моделям, соединив которые согласно алгоритму, описанному в документах UCTE [3] и статьях [2, 4, 5], получает модель всей сети, на базе которой могут производиться соответствующие вычисления, в первую очередь – расчет безопасности сети своей зоны ответственности (страны).

Несмотря на относительную простоту, процесс краткосрочного расчета безопасности сети по указанному алгоритму является достаточно трудоемким и занимает при ручной реализации до четырех рабочих часов на один случай расчета: порядка двух часов на построение модели своей части сети (взяв случай сети размером 150 узлов) и столько же времени на проверку моделей партнеров, соединение их в модель общей сети, расчет безопасности и подготовку отчета. При увеличении количества случаев растут, соответственно, и затраты времени. При этом следует учесть, что построение частичных моделей невозможно до получения графиков производства и обмена энергией, становящихся доступными



■ Рис. 1. Страны-члены UCTE

лишь в конце рабочего дня (16–17 ч), после заключения большей части сделок купли-продажи энергии, что дополнительно усложняет процесс ручной подготовки модели и расчета.

Чтобы высвободить высококвалифицированных специалистов, избавив их от рутинного труда, а также получить возможность предсказания состояния сети на каждый час следующего дня (в перспективе – на каждые 15 мин), на фирме ETRANS был начат проект по автоматизации процесса DACF. К настоящему времени реализационная часть проекта завершена и программная система в течение года находится в эксплуатации, что позволяет говорить в данной статье не только об ожиданиях от реализации системы, но и о связанных с опытом ее использования проблемах и шагах по ее усовершенствованию.

Требования, предъявляемые к системе

Практика показывает, что требования к современной системе оперативной безопасности сети, как и к большинству программных систем, подвержены постоянной модификации. Это объясняется рядом факторов, таких как связанное с открытием энергетического рынка изменение процессов в области электроэнергетики, изменение структуры фирм-производителей энергии, смена стандартов в области передачи информации.

Обсуждаемые программные комплексы активно используют численные методы решения систем дифференциальных уравнений для расчета установившихся режимов работы сети, при этом расчеты производятся для большого числа случаев в течение ограниченного времени (в особенности, в процессе оптимизационных расчетов), что выдвигает повышенные, по сравнению с системами планирования, требования к эффективности вычислений.

Таким образом, основная сложность состоит в необходимости сочетания системой высокой гибкости с высокой эффективностью и надежностью. В случае системы DACF фирмы ETRANS был выдвинут также ряд дополнительных требований:

- способность обмена информацией между различными операционными системами (OpenVMS, UNIX, MS Windows) так как под ними работают части систем управления, расчета, планирования сети, модули определения состояния сети (State Estimator) и др.;
- соответствие высоким требованиям безопасности и надежности;
- оптимальное использование персональных ресурсов: минимальное вовлечение персонала в работу системы в оперативном режиме; минимальные затраты на поддержание данных.

Программные системы в электротехнике, особенно задействованные в управлении сетью, имеют срок службы, измеряемый многими годами, иногда – десятками лет. За это время, как показывает практика, даже крупные поставщики систем успевают уйти с рынка, сменить профиль дея-

тельности или просто потерять ведущее положение в данной области. В настоящее время на фирме ETRANS имеется целый ряд систем, разработанных и установленных ведущими производителями мира, поддержание которых частично или полностью производится собственными сотрудниками фирмы, так как фирмы-поставщики больше не располагают квалифицированным персоналом для этой цели или вообще прекратили свое существование.

Перечисленные соображения приводят к требованию разработки системы, части которой, при необходимости, можно было бы заменить аналогичными продуктами другого производителя.

Требования надежности играют особенную роль в системе предсказания перегрузок, так как в этом случае речь идет о процессе, который, являясь критическим с точки зрения управления сетью, основывается на данных, качество которых может, в общем случае, варьироваться в очень широких пределах. Более того, необходимые для получения качественного результата данные могут отсутствовать на момент проведения расчета.

Все входящие данные, включая частичные модели сетей, должны проверяться на качество содержащейся в них информации. В случае прихода некачественных данных процесс должен найти им адекватную замену, гарантируя получение наиболее корректного в данной ситуации результата. При этом процессы проверки и подстановки данных должны удовлетворять требованиям надежности.

Требования к интерфейсу пользователя

Основной задачей системы DACF является представление результатов расчета для принятия решений и дальнейшего анализа. Данные должны быть представлены в виде, позволяющем оператору принять решение в течение ограниченного времени, что определяет требования к интерфейсу пользователя, который приближается к интерфейсу систем управления.

Наряду с результатами расчета должен контролироваться и сам процесс предсказания перегрузок, так как при своевременном обнаружении проблем с исходными данными могут быть предприняты меры для их корректировки.

Системные администраторы, отвечающие за надежность работы системы с точки зрения информатики, выдвигают свои требования к возможностям мониторинга состояния системы.

Помимо внутренних, результатами расчета пользуются и внешние пользователи: сотрудники зарубежных TSO (Transmission System Operator – Оператор передающей сети), представители операторов распределительных сетей, сотрудники департамента энергии и т. д. Для таких пользователей в защищенной области веб-страницы фирмы ETRANS было реализовано представление результатов $N/N-1$ расчета швейцарской сети.

Общий дизайн системы

Требования независимости системы от одного поставщика приводят к необходимости модульного дизайна. Данный подход также хорошо согласуется с необходимостью одновременной гибкости и эффективности системы.

Еще на этапе постановки задания было решено использовать основные модули только из числа стандартных продуктов, представленных на рынке, – как для того, чтобы иметь в распоряжении наиболее полно протестированные программы, так и для того, чтобы пользоваться усовершенствованиями, вносимыми в продукт в процессе развития.

Модульное построение системы налагает особые требования на межмодульные интерфейсы, так как именно они в дальнейшем будут определять возможности расширения системы и простоту замены ее отдельных частей.

Эти условия были учтены при дизайне системы, которая построена с использованием в качестве интерфейсов моделей сетей, имеющих четкое физическое значение:

- локальная сеть на данный момент времени;
- локальная сеть на аналогичный момент времени следующего дня (прогноз);
- общая модель европейской сети на следующий день.

В остальной система построена в соответствии с классической трехуровневой моделью, с разделением на данные, алгоритмы и интерфейс пользования.

Схема процесса с разбиением на программные модули приведена на рис. 2, описание алгоритмов работы системы – в работе [4].

Для реализации рассматриваемой системы требуются следующие компоненты:

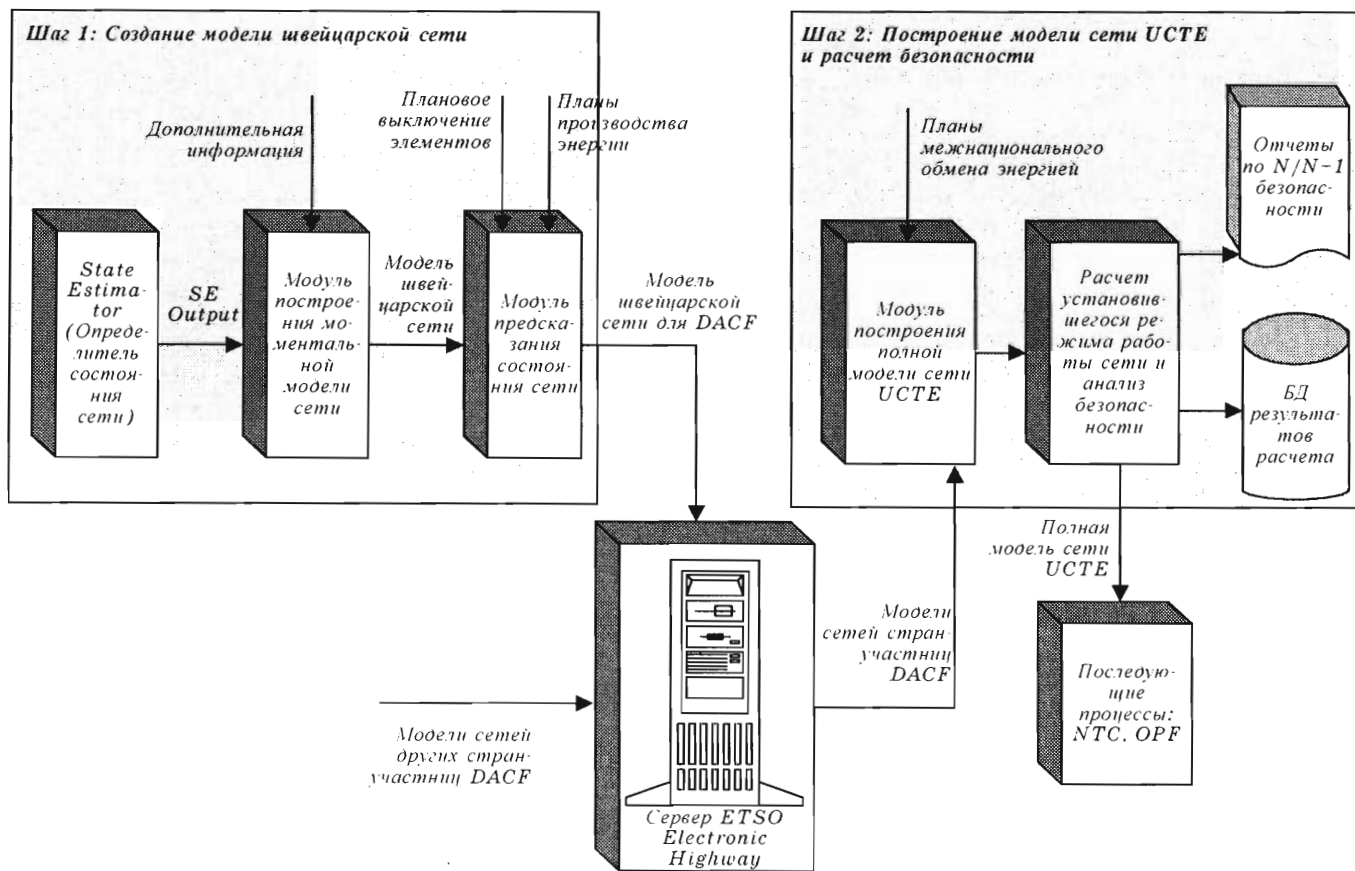
- программа расчета сети со встроенным языком программирования для реализации алгоритмов пользователя;
- инструменты контроля процесса (workflows);
- системы хранения данных;
- системы обмена информацией (interprocess communication).

Правильный выбор базовых продуктов в существенной степени определяет надежность, удобство работы и, не в последнюю очередь, стоимость системы.

Требования к расчетной части системы

Основной задачей системы автоматического предсказания перегрузок является построение моделей сети, расчет $N/N-1$ безопасности сети и создание соответствующих отчетов. Используемый для этих целей продукт должен отвечать следующим требованиям:

- стабильность – так как все операции производятся в автоматическом режиме;
- гибкость – так как часть производимых операций не входит в набор стандартных функций программ расчета сетей;
- скорость – так как требуется произвести большое количество вычислений за ограниченное время;



■ Рис. 2. Схема процесса DACF

– развитость программного интерфейса – так как продукт должен быть интегрирован в систему workflows и обмениваться с ними информацией в обоих направлениях;

– развитость графического интерфейса пользователя – так как всегда может возникнуть необходимость дополнительного анализа системы в интерактивном режиме.

Одним из путей достижения поставленной задачи является разработка специального программного обеспечения. Однако, учитывая вопросы развитого графического интерфейса, поддержки и максимальной независимости от поставщика, от такого подхода было решено отказаться в самом начале проекта.

Соответственно, первым шагом в создании системы был анализ доступных на рынке программных пакетов для расчета сетей.

Одним из важнейших критериев отбора являлось быстродействие расчетного ядра системы, однако вопросы надежности, сходимости численных алгоритмов, гибкости, интерфейса пользователя, точности моделирования элементов сети, возможности дальнейших расширений также играли существенную роль. Для выбора системы, наиболее подходящей для решения поставленной задачи, было отобрано 6 продуктов ведущих разработчиков Европы

и США и проведен ряд тестов, из результатов которых следовало, что ни один из рассматриваемых продуктов не смог стать лидером во всех категориях, а по некоторым категориям разброс показателей оказался очень велик. Так, например, расчет $N-1$ безопасности самым быстрым кандидатом проводился за 20 с, самым медленным – за 10 мин, т. е. разница в быстродействии достигала 30 раз (расчет $N/N-1$ безопасности для 200 элементов сети из 2500 узлов). Кроме того, некоторые продукты не обеспечивали требуемую надежность работы, многие не соответствовали требованиям гибкости, интеграции в процесс и автоматизации операций.

Особенные требования предъявлялись и к возможностям моделирования, так как в швейцарской сети и сетях соседних стран используются трехобмоточные трансформаторы с угловым регулированием, не моделировавшиеся с достаточной точностью большинством программных пакетов ввиду отсутствия подобных устройств в сетях США и большинства европейских стран.

В результате интенсивного тестирования был определен продукт, отвечавший на момент рассмотрения всем основным требованиям. Недостатком продукта являлось несовершенство графического интерфейса пользователя. Данное требование, од-

нако, не было основным при реализации автоматизированной системы, а фирма-разработчик объявила о запланированном выпуске новой версии пакета (на данный момент поступившей в продажу), где этот недостаток был устранен. В то же время, продукт показал высокую скорость расчета, хорошую сходимость алгоритмов, развитые возможности моделирования, а также очень высокую гибкость благодаря встроенному языку автоматизации.

Workflows – это программы, работающие в событийно-ориентированном режиме и перенимающие ответственность за правильную последовательность операций во время процесса. Они относятся к так называемым продуктам класса «middleware» – «связывающие, обеспечивающие взаимодействие». Выбор программ workflows достаточно широк, но количество программ для автоматизации инженерных процессов очень ограничено. Так как workflow всегда отражает сугубо индивидуальный процесс пользователя, данную часть системы можно реализовать на любом из языков программирования: функции открытия и копирования файлов, чтения файлов в различных форматах, работа по событию (и, как частный случай, по таймеру) поддерживаются всеми языками высокого уровня под MS Windows. Но требования к системе workflow идут существенно дальше, включая возможности диагностики, тестирования, удаленной отладки и удаленного запуска, ведения журналов работы и многое другое. Разработка подобной функциональности с нуля неоправданна и ведет к существенному повышению стоимости системы при увеличении сроков ее реализации.

На фирме уже была установлена система workflows, которая и была использована при реализации данного программного комплекса.

Рассматриваемая система оперирует большим количеством данных, объем которых может достигать до гигабайта в день. Большую часть этих данных составляют модели сетей Швейцарии и стран-участниц УСТЕ, хранящиеся в файлах формата УСТЕ и стандартном для отрасли формате RAW (оба – текстовые форматы представления модели сети). Планы производства и обмена энергией хранятся в виде файлов формата CSV (Comma-Separated Values – данные, разделенные запятой), достаточно удобном для машинного и операторского чтения. Ввиду сравнительно небольшого объема этих данных, было решено воздержаться от использования базы данных в пользу простоты их обмена, контроля и ручной модификации. Все данные хранятся в системе директорий, структура которых позволяет быстрый автоматизированный и ручной доступ к информации, а также ее удобную архивацию.

Система предсказания перегрузок сети представляет собой набор модулей, согласованная работа которых невозможна без обмена информацией с целью передачи параметров запуска и возврата кода завершения процесса. Для решения дан-

ной задачи требуется простая и эффективная система межпроцессной коммуникации.

В рассматриваемой системе используется метод обмена информацией на базе протокола HTTP. Использование метода GET протокола HTTP позволяет осуществить межпроцессную межплатформенную коммуникацию для всех вовлеченных систем, без применения флаг-файлов, часто используемых для синхронизации различных процессов.

Workflows

Процесс расчета безопасности сети основан на разработанном рабочей группой DACF алгоритме расчета безопасности сети, являющемся на настоящий момент стандартом в рамках УСТЕ. По описанному алгоритму производится расчет практически во всех странах-членах УСТЕ, при этом все операции или их часть проводятся вручную.

При постановке задания на разработку рассматриваемой системы было указано на важность создания полностью автоматизированного процесса, позволяющего производить полный цикл расчета без непосредственного участия в нем специалистов.

Это достаточно сложная задача, так как в процессе расчета используются данные, поставляемые из различных систем и имеющие различное качество, в частности – модели национальных передающих сетей 22 стран.

Обычно оценка, корректировка или эквивалентная замена моделей проводится опытным инженером-электротехником. В описываемой системе эту функцию берут на себя элементы программного комплекса. Реализация подобной функциональности требует гибкого и мощного инструмента, который производит поиск и скачивание модели с сервера; проверку данных на формальное соответствие стандартам; формальный анализ модели сети, ее расчет с последующим анализом результатов и сравнением их с predetermined набором критических значений; замену моделей, не прошедших проверку, эквивалентными моделями, измененными таким образом, чтобы они максимально соответствовали моделируемому моменту времени. После ряда тестов было принято следующее разделение функциональности:

- все операции, связанные с проверкой, моделированием, расчетом и анализом сети, реализовать в модулях на базе системы расчета сети;
- все операции, связанные с поиском, проверкой, передачей данных, а также контроль процессов во времени (запуск по таймеру и по событию), возложить на систему контроля workflows.

В рассматриваемой системе workflows, являясь контрольным механизмом, также реализуют и функции оповещения персонала в случае ошибок. Очевидно, что стабильность workflows – основной определяющий фактор стабильности процесса в целом.

Опыт эксплуатации системы

Описываемая система находится в действии более года. Проведенные за это время тесты показали хорошее соответствие результатов, полученных при автоматическом процессе, с результатами, основывающимися на ручной подготовке моделей, что не является, как может показаться, само собой разумеющимся, так как, несмотря на достаточно хорошую алгоритмизацию процесса в целом, практически при каждом расчете приходится сталкиваться с рядом проблем, которые относительно легко могут быть решены специалистом, но представляя сложности для реализации в автоматизированной программной системе.

Проблема первая: недопоставленные данные. Все данные в рассматриваемую систему поставляются из других систем, частично – в результате автоматизированного, частично – в результате ручного процесса. Оба могут давать сбои, приводящие к непоставке, несвоевременной поставке или искажению данных. Каким образом решается проблема? Все данные делятся на несколько групп по признаку их важности для рассматриваемого процесса.

- **Критичные** – при их отсутствии процесс прерывается. После длительных тестов к группе критичных данных было решено относить только модель локальной (в данном случае – швейцарской) сети, так как при ее отсутствии результат может настолько отличаться от планируемого, что пользоваться им будет нецелесообразно.

- **Важные** – при их отсутствии система может самостоятельно создавать подходящую замену (одновременно информируя пользователей, что результат нуждается в дополнительной проверке) или запросить помощи оператора. К таким данным относятся, например, модели сетей, окружающих анализируемую часть сети (в данном случае – модели пограничных со Швейцарией стран – Германии, Италии, Франции и Австрии).

- **Второстепенные** – при их отсутствии система также ищет или создает подходящую замену, но специальное предупреждение не выдается, так как влияние их на результат обычно невелико. В качестве примера можно привести модели сетей удаленных стран, планы производства энергии небольших электростанций.

Как показывает практика, по ряду причин (как технических, так и организационных) регулярный своевременный приход полного набора данных от всех участников процесса на данном этапе невозможен, что ведет к необходимости реализации алгоритмов подстановки для всех важных и второстепенных типов данных – планов производства и обмена энергией, моделей сетей и др.

Проблема вторая: данные, содержащие ошибки. Хотя в ряде случаев ошибки в данных определить практически невозможно (например, неверное значение в плане производства энергии, не

выходящее за физические границы станции), в большинстве случаев подобная возможность существует. Наиболее важной является проверка на корректность моделей сетей стран, при этом проверяется как формат данных, так и модель в целом. В системе DACF реализована многоуровневая проверка данных, включающая проверку формата с одновременной конвертацией модели в расчетный формат; проверка соответствия генерации в узлах сети заданным физическим лимитам; проверка баланса активной и реактивной мощности, генерации и нагрузки и, наконец, численный расчет модели. Модели, не прошедшие проверку, заменяются по тому же алгоритму, что и отсутствующие данные.

Проблема третья: невозможность найти численное решение для режима работы сети (отсутствие сходимости алгоритма). Подобное явление представляет неотъемлемый риск при использовании численных методов расчета, хотя его вероятность и может быть существенно снижена предварительной проверкой частичных моделей. Специалист, в случае отсутствия сходимости, пробует различные алгоритмы расчета, одновременно снимая наложенные ограничения, или модифицирует модель с целью устранения причины проблемы. Реализация подобного подхода в автоматизированной системе может быть затруднена, в частности, из-за временных ограничений, налагаемых процессом.

На основе результатов проведенного анализа было решено остановиться на подходе, максимально приближенном к последовательности операций, проводимой специалистом при ручном расчете:

- расчет методом Ньютона–Рапсона (Decoupled Newton–Raphson) с учетом лимитов на реактивную мощность. Данный метод по результатам тестов обладает наилучшим соотношением сходимости–скорость;

- в случае отсутствия сходимости повторяется расчет методом Ньютона без учета лимитов на реактивную мощность и с использованием плавного старта (flat start);

- в случае повторного отсутствия сходимости используется модифицированный метод Гаусса без учета лимитов на реактивную мощность.

Таким образом, по своим возможностям система DACF близка к тому, что может обеспечить квалифицированный специалист, выполняющий ручной расчет по данной методике. При этом построение модели европейской сети (модели 22 стран, общий размер сети 2500 узлов) и расчет на ее базе безопасности швейцарской сети ($N/N-1$ для 250 элементов) занимает около 2,5 мин, что позволяет произвести расчет для 24 ч следующего дня примерно за 1 ч. Эффективное время расчета составляет при этом менее 20 %, остальные 80 % занимает проверка данных и подготовка отчетов. Как видно из рис. 3, это принципиальное ускоре-

ние по сравнению с ручным решением, занимающим от двух часов и более.

Опыт, собранный в процессе начальной эксплуатации системы, оказал влияние на дальнейший подход к ее дизайну. Вот некоторые из выводов.

1. Становление полностью автоматизированного решения является процессом, требующим определенного времени (возможно, более года), в течение которого проявляют себя все непредусмотренные комбинации факторов, влияющие на результат. В течение этого периода необходимо считаться с доработками в алгоритмах анализа данных, параметрах расчета, workflows и др.

2. Какой бы надежной не казалась реализация автоматического выполнения последовательности операций (workflow), всегда должна быть предусмотрена возможность ручного запуска всех операций последовательности. Данная функциональность важна в случае непредвиденного поведения системы, выхода из строя системы workflow или отказа части аппаратного обеспечения системы.

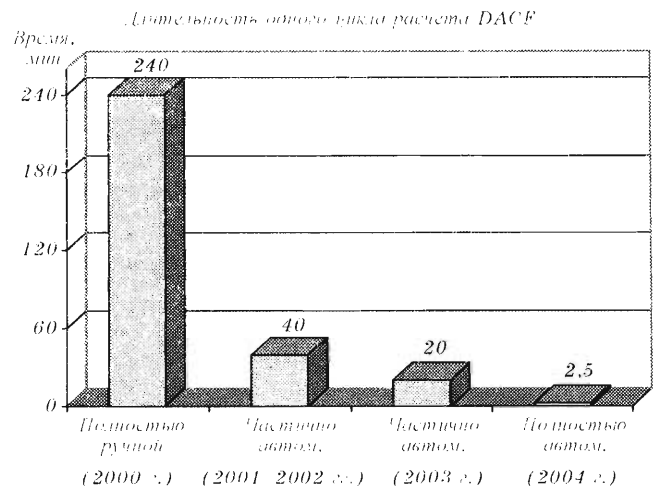
3. Если целью является построение полностью автоматической системы, разумно так организовать процесс, чтобы результат выдавался даже при минимальном наборе исходных данных. При этом целесообразно ввести коэффициент качества, изменяющегося, например, с 10 % (минимум достоверных данных) до 100 % (наличие всех необходимых данных).

4. Если целью является получение наиболее высокого качества результатов, необходимо предусмотреть возможность корректировки оператором как частичных данных, так и времени выполнения действий процесса (например, имеет смысл сдвинуть время запуска расчета, если известно, что необходимые данные задерживаются, но будут доступны в течение допустимого времени).

Как уже было сказано выше, система DACF постоянно развивается и совершенствуется. В качестве следующих шагов предусматривается реализация интерфейса OPC (OLE for Process Control) для упрощения мониторинга процесса и связи с системой управления сетью, улучшение системы диагностики и дальнейшее развитие системы архивации и представления результатов расчета.

Заключение

Система предотвращения перегрузок является необходимым инструментом каждого независимого оператора передающей сети. Освещенный в данной статье программный комплекс предотвращения перегрузок на этапе краткосрочного планирования является важным шагом на пути автоматизации процесса оперативного управления сетью в условиях рынка. Помимо обеспечения прогноза режима работы сети на основании наиболее реалистичного на сегодняшний день для европейской сети метода DACF, комплекс предоставляет модели



■ Рис. 3. Длительность одного полного цикла расчета по методу DACF

для целого ряда других систем: расчета пропускной способности сети, расчета мер по устранению перегрузок [7], оперативного расчета безопасности сети.

Рассмотренный программный комплекс вызвал большой интерес представителей стран Южной и Восточной Европы на конференции MedPower 2004 и, с точки зрения авторов, может представлять интерес и для операторов российской передающей сети, особенно в условиях совместного проекта по исследованию синхронного объединения энергосистем Западной, Центральной и Южной Европы с ЕЭС России.

Литература

1. Dy-Liacco T., Singh N., Pavella M. Congestion Management in a Large Interconnected Network: Needs and Methods// IFAC. Shanghai, 2003.
2. Zimmerman D., Imhof K., Emery M. Modular Day-ahead Congestion Forecast as a First Step of a Congestion Management Process: Proc. of the 1st Balkan Power Conf. Bled, Slovenia. 2001.
3. UCTE Operational Handbook, Policy 4. www.ucte.org
4. Tchoubraev D., Singh N., Chan K. H. et al. Advanced Automated Approach for Interconnected Power System Congestion Forecast: Proc. of conf. MedPower 2004. Cyprus. 2004.
5. Emery M., Zeitler G. Tagesgerechte Engpassvorhersage (DACF): VDE-Kongress. Berlin, 2004.
6. Singh N., Tchoubraev D. Operational Security Analysis of Interconnected European Network in Liberalized Market: Conf. PowerTech 2005. St. Petersburg, 2005.
7. Emery M., Karpatchev A., Tchoubraev D. Congestion Management at ETRANS: 2nd CIGRE / IEEE PES International Symposium «Congestion Management in a Market Environment», San Antonio, USA, 2005.